

Simulação Fluidodinâmica De Um Digestor Contínuo Para Produção De Celulose.

I. Neitzel¹, R. Kreczkuski¹

¹FATEB, Telemaco Borba, Paraná, Brasil

Abstract

A obtenção de polpa celulósica antecede a produção de papel e envolve a separação das fibras da madeira mediante a utilização de energia mecânica, térmica, química ou a combinação desses processos. Esta operação é realizada em um reator, tubular, cilíndrico e vertical (tipicamente 6 m de diâmetro e 50 m de altura), denominado genericamente de digestor. A madeira é alimentada pelo topo na forma de cavacos.

O processo reativo ocorre à temperatura de 150 °C e pressão de 700 kPa por cerca de três horas, com adição de Sulfato de Sódio e Hidróxido de Sódio, que dissolvem a lignina, a substância que une as células da celulose, e liberam as fibras de celulose. Na saída do digestor os cavacos foram convertidos em uma pasta marrom, denominada de celulose não branqueada. Esse processo é chamado de processo Kraft. O digestor simulado é do tipo convencional, contínuo, de fase vapor, modelo Kamy.

A simulação, na sua essência, envolve o (1) - o escoamento fluidodinâmico da solução de reagentes (licor) permeando através de um leito poroso com porosidade e permeabilidade variáveis, (2) - as reações químicas entre os reagentes e os cavacos, e, (3) - a troca de calor entre o licor e os cavacos. Estes três fenômenos estão fortemente interligados. O presente estudo aborda a etapa 1.

O escoamento é classificado como "não Darcy" mas com velocidades baixas, descrito pela equação de Ergun modificada. A porosidade (fração de vazios) do leito varia na faixa de 0.3 até 0.6, mas sua variação não é monótona e é associada à pressão exercida sobre os cavacos provocando a deformação do leito e depende de (1) - peso próprio dos cavacos, (2) - empuxo do licor reagente, (3) - atrito junto a parede do digestor, e, (4) - arraste pelo licor (ascendente e descendente). É descrita por uma equação diferencial.

Para simulação com o software COMSOL Multiphysics® foi utilizada a geometria 2D axi-simétrica com a interface física para escoamento em meios porosos, modelo de Brinkman, adaptado para descrever a equação de Ergun. A pressão sobre os cavacos foi descrita pelo acoplamento (complexo) da formulação matemática (PDE) na forma explícita em relação aos coeficientes e que necessitou de estabilização inconsistente calibrada empiricamente. A porosidade e a permeabilidade do leito são dependentes da pressão exercida pelos cavacos que, por sua vez, depende do escoamento do licor.

Mesmo não considerando na geometria do digestor as peneiras para remoção de licor, o perfil do escoamento, a direção de escoamento do licor, a porosidade do leito e os balanços materiais foram coerentes com os resultados esperados. As figuras 1, 2, 3 e 4 são representativas.

As simulações realizadas corroboram a influência da porosidade nas linhas de escoamento de licor e pode ser manipulada pela injeção de licor para evitar problemas operacionais decorrentes da compactação dos cavacos. A velocidade do licor é maior na entrada do digestor diminuindo drasticamente após a zona de cozimento.

Reference

ALAQQAD, M. C. P. J. BENNINGTON AND D. M. MARTINEZ. The Permeability of Wood-Chip Beds: The Effect of Compressibility. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Volume 90, Issue 5, pages 1278–1288, October 2012, DOI: 10.1002/cjce.20638.

BHARTIYA, SHARAD., DUFOUR, PASCAL., DOYLE III, FRANCIS J. Fundamental thermal-hydraulic continuous pulp digester model with grade transition. *American Institute of Chemical Engineers*, ISSN: 0001-1541, 2003, 49 (2), pp.411-425, <http://dx.doi.org/10.1002/aic.690490212>.

DUKHAN, NIHAD., BAGGCI, ÖZER., ÖZDEMİR, MUSTAFA. Experimental flow in various porous media and reconciliation of Forchheimer and Ergun relations. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 57 (2014) 425–433, ISSN: 0894-1777.

FRANK A. COUTELIERIS & J.M.P.Q. DELGADO; *Transport Processes in Porous Media (Series in Advanced Structured Materials)*, 2012, Springer, ISBN-10= 3642279090, ISBN-13= 978-3642279096.

HELLSTRÖM, J. G. I., LUNDSTRÖM, T. S. Flow through Porous Media at Moderate Reynolds Number. 4th International Scientific Colloquium Modelling for Material Processing, edited by Laboratory for Mathematical Modelling of Environmental and Technological Processes, University of Latvia, Riga, June 8-9, 2006, isbn 9984783855, 9789984783857.

JAMBHEKAR, VISHAL, A. FORCHHEIMER. Porous-media Flow Models. Numerical Investigation and Comparison with Experimental Data, Master Thesis, Universität Stuttgart - Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung, Lehrstuhl für Hydromechanik und Hydrosystemmodellierung, Stuttgart, 26. November 2011.

LAAKSO, SAMPSA. Modeling of chip bed packing in a continuous kraft cooking digester. Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology, Espoo, Finland, Helsinki University of Technology, Faculty of Chemistry and Material Sciences, Department of Forest Products Technology, December, 2008, isbn 9789512296781.

LEE, QUAK FOO., AND BENNINGTON, CHAD P. J. The Effect of Particle Size Distribution on Pressure Drop through Packed Beds of cooked Wood Chips. *The Canadian journal of chemical engineering*, volume 83, august 2005.

MICHELSSEN, FINN A. AND FOSS, BJARNE A. A comprehensive mechanistic model of a continuous Kamyr digester. *Appl. Math. Modelling*, 1996, Vol. 20, July.

ZENG, Z., GRIGG, R. A criterion for non-Darcy flow in porous media, *Transp. Porous Med.* 2006, 63, 57–69

Figures used in the abstract

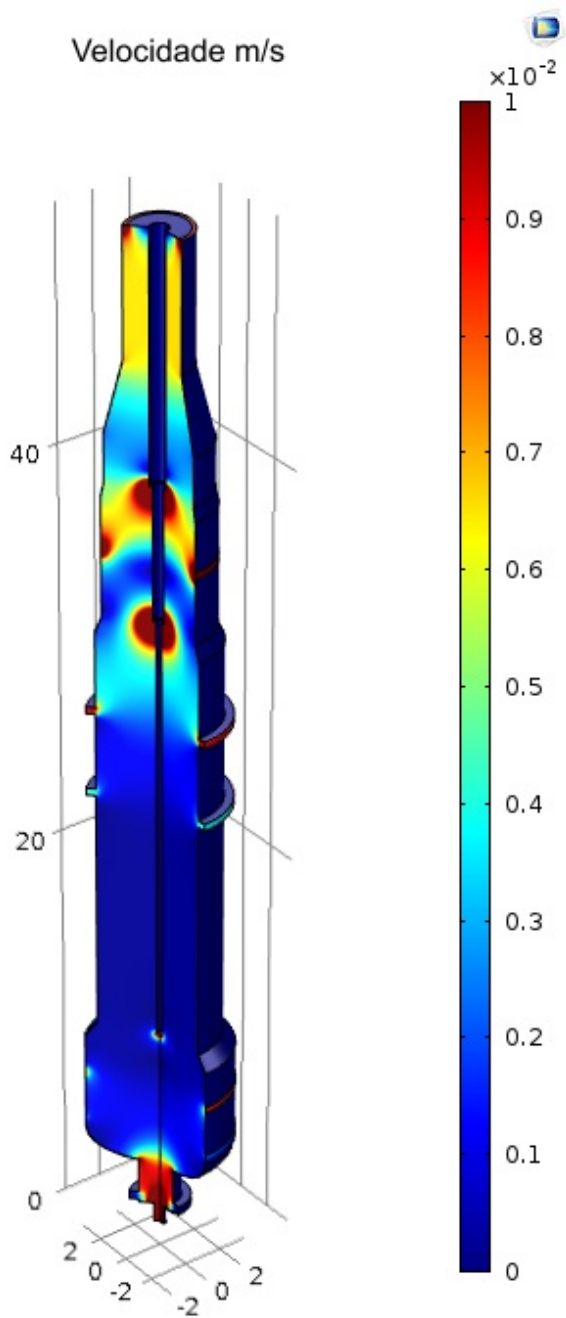
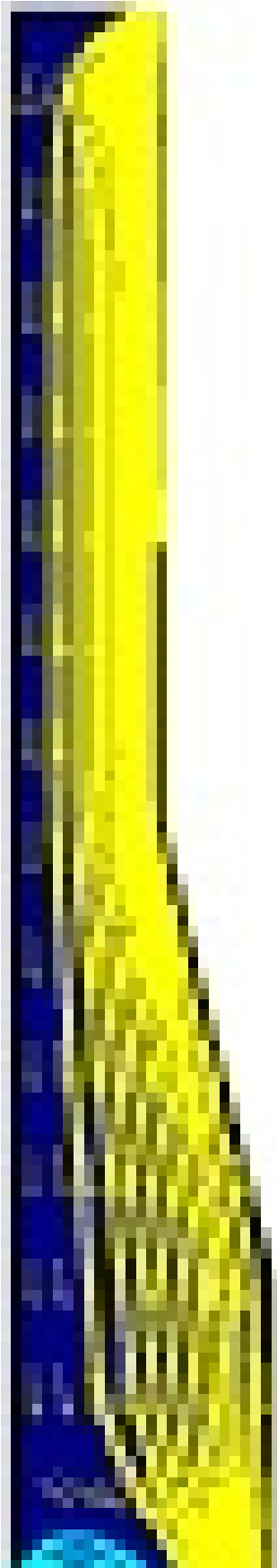
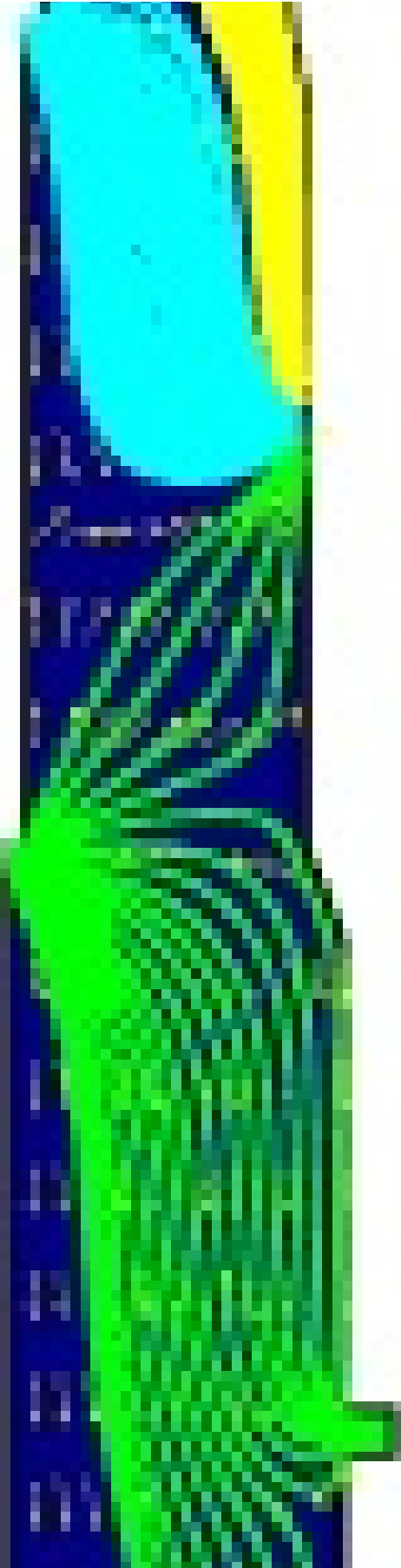


Figure 1: Perfil de velocidades 3D





1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025

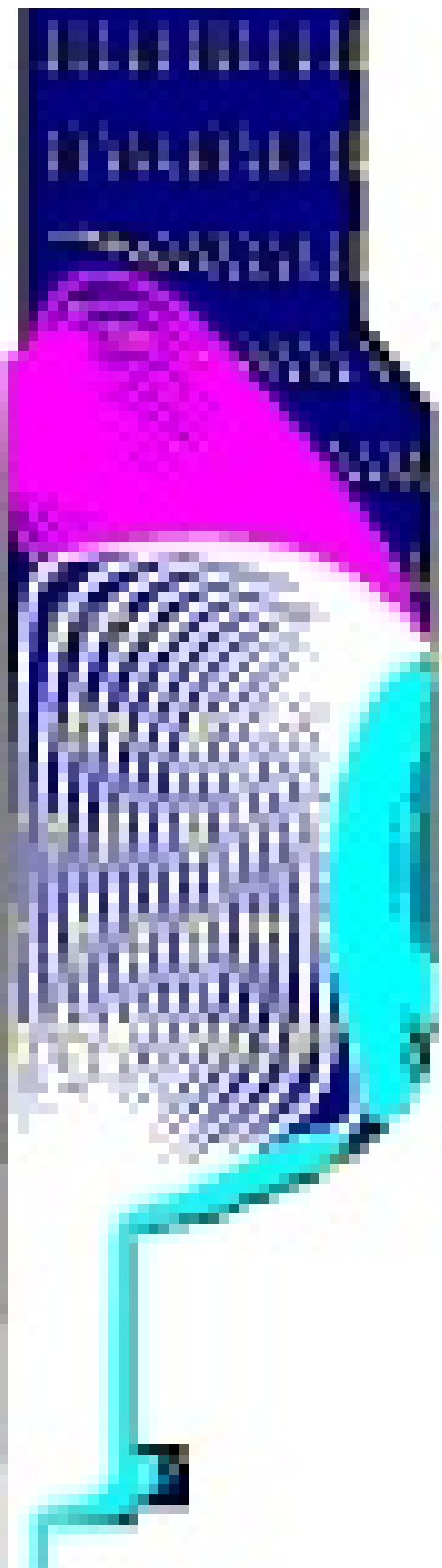




Figure 2: Visão global do escoamento

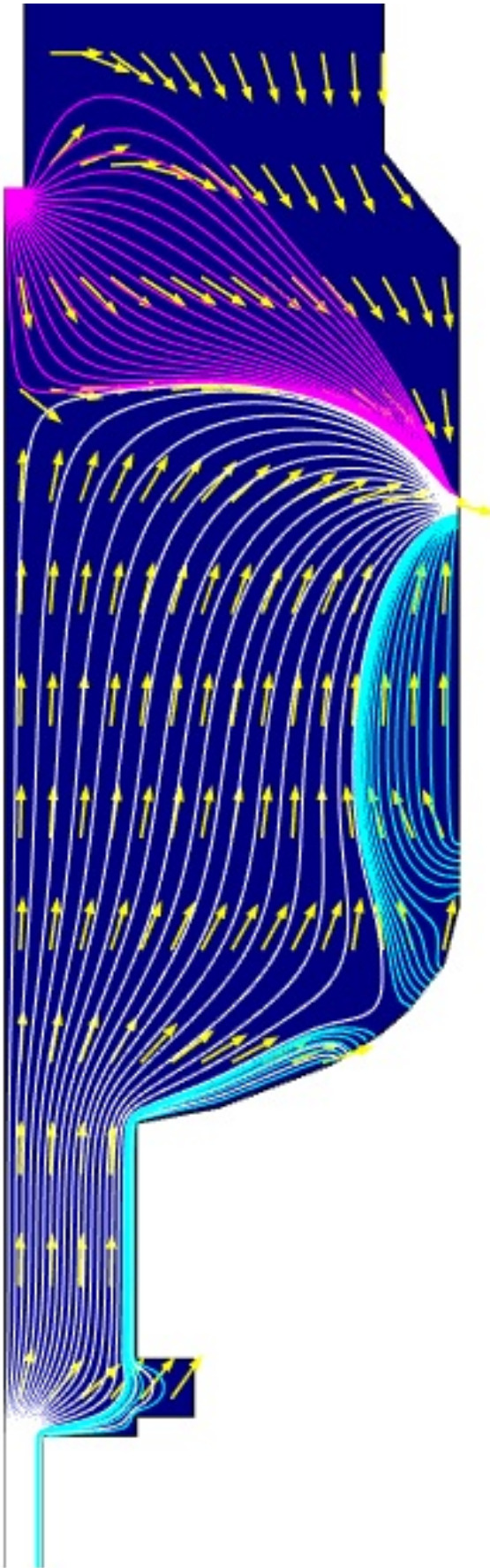
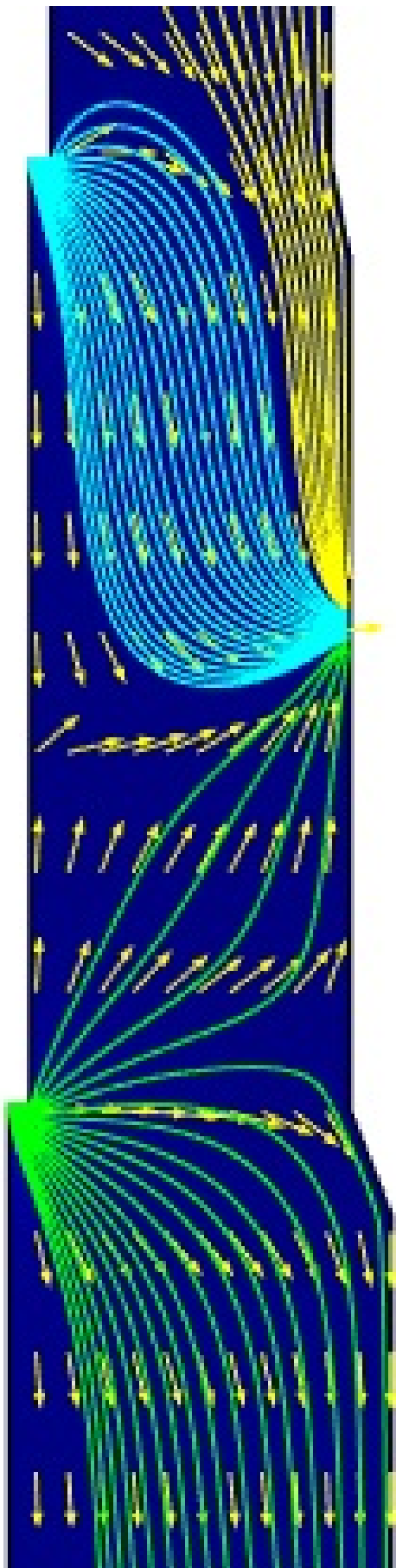


Figure 3: Linhas de fluxo na base



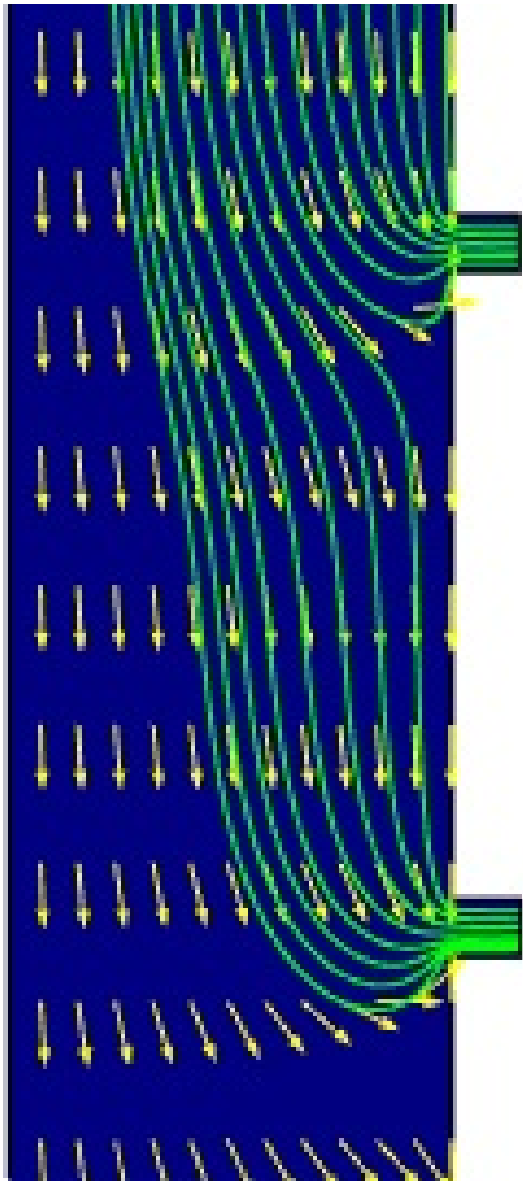


Figure 4: Linhas de fluxo no meio

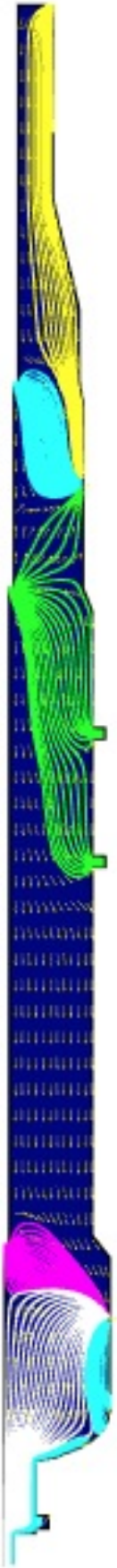


Figure 5